

# 行動の読み合いをモデル化するためのカードゲームの開発

## Development of a Card Game for Modeling Mutual Reading of Behavior

細川敦司<sup>1</sup> 森田純哉<sup>1</sup>

Atsushi Hosokawa<sup>1</sup>, Junya Morita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学情報学部

<sup>1</sup>Faculty of Informatics, Shizuoka University

**Abstract:** Humans mutually read behaviors of others in everyday life. Although there have been many researches about such human cognitive processes in the field of human-agent interactions, the modeling of such mechanisms still not enough. Considering such background, we aim to model the mechanism in a framework of cognitive modeling. This study especially proposes a card game for modeling the mutual behavior reading process, and present a model and simulation using ACT-R cognitive architecture, and a behavior experiment with human participants.

### 1 はじめに

日常において、行動の探り合いは頻繁に発生する。交差点での他者との一瞬のすれ違い、対面での会話や議論、メールや SNS (Social Networking Service) による非同期でのメッセージの送受信、評価者に向けたレポートや申請書の執筆など、およそ全ての社会的場面で、人は他者の行動を予測、あるいは推測する。その過程を通して、人々は他者と協力するにせよ対立するにせよ、自己の利益を最大化することを目指す。ときとして相手の行動を読みつつ、相手を出し抜くことも行われる。

しかし、他者の行動を読む認知プロセスは未だ十分に明らかになっていない。これまでに Human-Agent Interaction, あるいは認知的インタラクションデザインなどの分野において、様々な理論が提唱されてきた [3, 4, 10]。植田は主体の内部に他者についての心的表象である「他者モデル」を構築することが、持続的なインタラクションに必要であると指摘した[10]。また、比較認知科学においては、再帰的に他者の心的状態を推論することが人間の高度な知能を導いたという仮説も提起されている [4]。しかし、これらの多くは理論的な仮定を述べるに止まり、現実の人間による複雑な処理を十分に記述できていない。

実際の人間による処理を明らかにするためには、認知プロセスを詳細に記述するモデルが必要である。本発表では、他者の行動を読む認知プロセスのモデル化のために、単純な状況において行動の探り合いが発生するカードゲームを提案する。また、提案し

たゲームに対する認知アーキテクチャ ACT-R [2]を用いたモデルとシミュレーション結果を示す。さらにその結果を受けて実施した人間相手の実験の結果を示し、現状のまとめと今後の課題を述べる。

### 2 関連研究

本節においては、行動の読み合いを促す課題についての関連研究、およびモデル化のフレームワークをまとめる。

#### 2.1 ゲームを利用した行動の読み合いに関する研究

認知プロセスのモデル化を行う際には、現実の複雑な現象をそのまま捉えるよりも、対象となる処理に焦点を当てた単純化された課題を設定することが有効である。人工知能や認知科学の分野においては、特にパズルやゲームを課題とする研究がこれまでに多く行われている。対人的なインタラクションが関係するゲームとしては、人狼 [7, 9] や Hanabi [6]、ブラックジャック [1]、インディアンポーカー [8]などを扱った研究が行われている。これらのゲームの多くにおいて、行動の読み合いが行われる。しかし、上記のゲームの多くは、配布される手札などにおいて確率的な要素が関係する。これらのゲームの初期条件に関わる確率的要素は、エンターテインメントとしてのゲームには必要なものであるのかもしれない。しかし、認知プロセスに関する仮説を検証するためのゲームとしては、データ数の増加を導くため望ましいものではない。純粹に行動の読み合い

を検討するためには、確率的要素を排除した新たなゲームを設計することが有効であると考えられる。

## 2.2 認知アーキテクチャ

人間の内部に生じる心的プロセスを表現する手段として、認知モデルに関わる研究が積み重ねられている。認知モデルは人間の内部処理に関わる計算機上に実装された仮説である。計算機上で実行可能なプログラムとして記述され、人間の行動データとの対応を図ることで検証される。また、認知モデルの構築には、ときとして認知アーキテクチャと呼ばれるフレームワークが用いられる。認知モデルが個別の課題における認知処理を表現するのに対し、認知アーキテクチャは、多様な課題に共通して利用されるモジュールを体系化する。

これまでに認知アーキテクチャのひとつであるACT-Rを用いた複数のインタラクションに関わるモデルが構築されている。森田らは、メッセージ付きの協調ゲームにおけるインタラクションをACT-Rを利用することでモデル化した[5]。モデルは課題における各ラウンドの経験を事例として蓄える。直面する状況に対して、過去の類似した事例を用いることで、他者の振る舞いを予測し、現在の状況における自分の行動を決定する。また、モデルには事例の利用の仕方として、自己の経験をそのまま利用するだけでなく、過去の他者の振る舞いを再現する模倣を含めた。結果として、模倣を含むモデルは協調ゲームにおける人間の振る舞いをよく再現した。

しかし、上記の森田らの研究が扱ったインタラクションの状況は、協調場面にとどまる。本研究が対象とするような行動を読み合うメカニズムを検討するためには、課題およびモデルの拡張が必要である。

## 3 カードゲーム

2.1で述べた従来の課題の欠点(確率的な要素)を排除し、行動を読み合う処理に焦点を当てた課題を設計した。このカードゲームは二人で行うものである。また、ブロックという単位で進行する。以下、ブロックの進め方について説明する。

### 3.1. ブロックの進め方

ブロックを始めるにはまず、1, 2, 3, 4, 5が一つずつ書かれた5枚のカードをそれぞれ二人に配る。

1. 各プレイヤーは自分の手札から1枚を選び、数字を隠して場に出す。
2. その結果、より大きな数が書かれたカードを

出したプレイヤーに1ポイントが加算される。カードに書かれた数が等しい場合はどちらにもポイントは与えられない。

3. 場に出したカードは手札からなくなる。

お互いの手札がなくなるまで(5回)、1~3を繰り返し、より多くのポイントを得たプレイヤーがこのブロックの勝者となる。両者のポイント数が等しい場合は引き分けとなる。

### 3.2. 具体例

ブロックの進行の具体例を表1に示す。

表1ではI巡目にプレイヤーAが5、プレイヤーBが3のカードを出している。この場合、プレイヤーAに1ポイントが加算される。場に出したカードは手札からなくなるので、2巡目以降Aは5、Bは3のカードを出すことができない。さらに表1のII巡目において、プレイヤーAとBはともに2のカードを出している。この場合は、どちらにもポイントは与えられない。場に出したカードは手札からなくなるので、III巡目以降AとBはともに2のカードを出すことができない。これを繰り返し、お互いの手札がなくなるまで(V巡目まで)行う。表1においては、AがI巡目、BがIIIとV巡目でそれぞれ1ポイントずつ獲得したため、Bがこのブロックの勝者となる。

表1. ブロック結果の例

	I	II	III	IV	V	計	
A	5	2	3	1	4	1	負
B	3	2	4	1	5	2	勝

このゲームにおいて各プレイヤーに配布されるカードは常に同一のものである。そのため、ポーカーやブラックジャックのように配布される手札による有利不利の要素が存在せず、純粋に他者の行動を読むことにより勝敗が決定することになる。

## 4 モデル

3節において設計されたカードゲームを遂行するACT-Rモデルを構築した。構築したモデルは、事例ベース推論によって、自己の行動を決定する。また、森田らのモデルで提案された模倣による推論を加えた。本節にはモデルの挙動を説明し、シミュレーションの結果を示す。

### 4.1 モデルによる推論

ACT-Rのゴールモジュールと宣言的モジュールを

利用する。ゴールモジュールはゲームの進行に応じて場に出された手札の情報を保持する。宣言的モジュールは過去のゲームにおいて出されたゴールモジュールの情報を蓄える。

モデルは各ブロックにおいて宣言的モジュールに蓄えられた事例に基づいて意思決定をおこなう。場に出すカードを決める方法が異なる3種類のモデルを作成した。

- 【ランダム】  
自分の手札から無作為に1枚を選ぶ。
- 【事例そのまま】  
ブロック終了時に、自分と相手がカードをどのような順序で出したかと、そのブロックにおける対戦結果を記憶する。次のブロックからは、自分が勝った事例を思い出し、それと同じようにカードを出していく。思い出せなければ自分の手札から無作為に1枚を選ぶ。
- 【事例使い分け】  
【事例そのまま】と同じようにブロック終了時に事例を記憶する。次のブロックからは、対戦結果を問わず事例を思い出す。自分が勝った事例を思い出したのならばそれと同じようにカードを出すことを試み、自分が負けた事例を思い出したのならばそのとき相手が出したカードを出すことを試みる。引き分けた事例を思い出した場合、事例を思い出せなかった場合、出そうとしたカードが自分の手札にない場合はいずれも手札から無作為に1枚を選ぶ。このモデル

表2. シミュレーションによる勝敗表

→	ランダム		そのまま		使い分け		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
ランダム	勝ち	309.42	13.53	308.19	14.83	309.75	12.26
	負け	308.21	14.60	307.86	13.93	308.65	13.56
	引き分け	382.37	16.44	383.95	15.41	381.60	13.96
そのまま	勝ち		519.34	496.71	236.63	48.70	
	負け		478.92	496.64	536.41	91.77	
	引き分け		1.74	1.66	226.96	54.73	
使い分け	勝ち				291.68	13.94	
	負け				290.58	15.16	
	引き分け				417.74	15.57	

は【事例そのまま】に対して、森田ら [5] による模倣を付け加えたものである。本研究においては、このように事例を使い分けることが、対人的なインタラクションにおける他者の行動を読む認知プロセスのモデル化に必要な要素だと仮定する。

## 4.2 シミュレーション

### 4.2.1 シミュレーション条件

4.1のモデルのうち2つを1000ブロック続けて対戦させ、勝敗ブロック数と、それぞれのモデルが記憶した事例の種類数を集計した。なお、100組が対戦した結果を平均した。

### 4.2.2 シミュレーション結果

モデル同士の対戦成績を表2に示す。表側のモデルによる表頭のモデルに対する1000回の対戦成績の平均 ( $n = 100$ ) が示される。なお、本論文の表においては、【事例そのまま】を「そのまま」、【事例使い分け】を「使い分け」と省略して記載している。

表より、対戦したモデルのうち少なくとも一方が【ランダム】に手を決定していた場合、勝敗数はほぼ等しくなることがわかる。これは、本ゲームにおいて、相手が何らかの戦略を持っていないと行動を読むことができないためと考えられる。また、【事例そのまま】は【事例使い分け】に半数以上のブロックで負けたことがわかる。【事例使い分け】は相手の行動をまねることもできるため、模倣は相手の行動を読む手掛かりになるということが示唆される。

モデルによって獲得された事例の数を表3に示す。表中のm1は表側に示されるラベルのモデルを表し、m2は表頭に示されるラベルのモデルを表す。表より、【事例そのまま】どうしの対戦、【事例そのまま】対【事例使い分け】の対戦、【事例使い分け】どうしの対戦の順に事例数が増加していることがわかる。【事例そのまま】は一度自分が勝つとその事例を使い続けるため、記憶した事例数が増加しにくい。反対に【事例使い分け】は対戦結果を問わず過去の事例を使うので、記憶した事例数が増加しやすいと考えられる。

上記の結果をまとめれば、設計されたゲームは、行動を読み合うモデルの行動を複雑化させることが示唆される。それに対して、ランダムな振る舞いを行うモデルにおいては、行動が複雑化せず、対戦相手によらず常に同じ結果が生成されることになる。

表 3. 各対戦において獲得された事例数

		ランダム	そのまま	使い分け
ラン	m1	0.00	0.00	0.00
ダム	m2	0.00	122.52	897.82
その	m1		4.74	73.55
まま	m2		4.74	73.55
使い	m1			897.82
分け	m2			897.82

## 5 実験

シミュレーションの結果から、模倣を行うモデルにおいて行動の読み合いが生じることが示唆される。しかし、シミュレーションの結果では実際の人間がカードゲームを行った際にどのように振る舞うのかわからない。実験では、今回のゲームにおいて、実際の人間が行った場合でも同様の行動の読み合いが生じるのかを検討する。なお本発表で示すのは、定量的な分析というよりは1組の参加者に対する事例的な分析である。

### 5.1 方法

#### 5.1.1 実験参加者

2名の大学生（ともに男性）が参加した。両参加者ともに、実験前に本ゲームをおこなったことはなかった。

#### 5.1.2 機材

トランプをカードとして用いた。また、実験中の勝敗を記載する対戦結果表を用意した。実験室にあらかじめ、1つの椅子を挟んで2つの椅子を向かい合わせるように置き、真ん中の椅子はカードを出す台の代わりにした。図1に実験の様子を示す。



図 1. 実験の様子

### 5.1.3 手続き

ゲームのルールを説明した後に、本カードゲーム課題に取り組みせ、実験の最後にアンケートを行った。

ルールの説明では、ブロック開始時にA(エース), 2, 3, 4, 5のカードをそれぞれ二人に配ること、A(エース)を数字の1とみなすこと、絵柄マークはこのゲームに関係しないことを教示した。

実験におけるゲームのプレイ時間は30分間とした。この間、参加者にはブロックをできるだけたくさん繰り返しプレイをするよう教示した。ただし、急ぐ必要はなく、参加者自身が快適にプレイできる速さで行うように教示した。なお、ゲームプレイでは相手より多くのブロックで勝つことを目指すこと、プレイ中に相手と会話しても構わないことを教示した。対戦中、対戦結果表に互いが場に出したカードと勝敗の結果を記録させた。ゲームをプレイしている様子をビデオカメラにて録画した。

### 5.2 結果と考察

表4に2名の参加者による手札の推移を示す。今回の実験では6つのブロックが行われたが、一方のプレイヤーが勝利を続けるわけではなく、実験をとおして勝敗が拮抗したことがわかる。

図2に各参加者による各手巡ごとのブロックの経過に伴う所要時間の推移を示す。初期のブロック(1ブロック, 2ブロック)に対して、それ以降のプロ

表 4. 実験における勝敗表

	I	II	III	IV	V	計
第1ブロック						
A	1	3	2	5	4	3
B	3	2	1	4	5	2
第2ブロック						
A	1	2	5	4	3	3
B	3	5	4	2	1	2
第3ブロック						
A	2	1	5	4	3	2
B	3	2	4	5	1	3
第4ブロック						
A	1	2	4	5	3	2
B	2	5	3	1	4	3
第5ブロック						
A	2	4	3	1	5	2
B	3	4	2	5	1	2
第6ブロック						
A	4	1	5	3	2	2
B	3	2	5	4	1	2

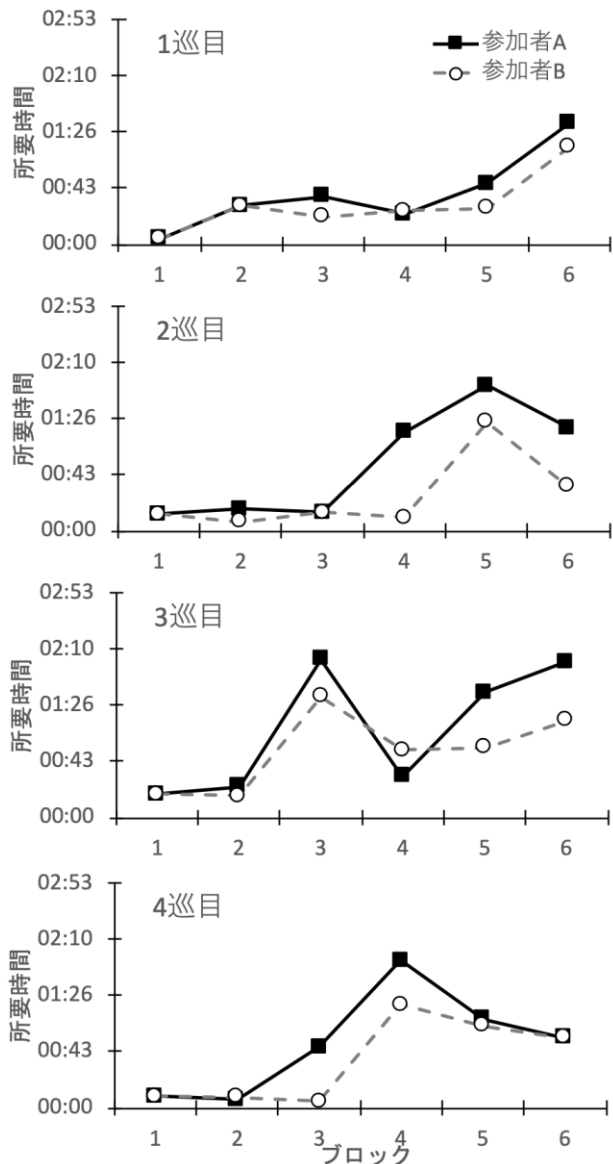


図 2. 所要時間の推移

ックにおける手札を出すまでの時間が長くなっていることがわかる。通常の人間の学習プロセスにおいては、課題の遂行に伴って、課題の遂行に要される処理の自動化・手続き化が生じると考えられる [2]。しかし今回設計したゲームにおいては、ゲームの経験を積み重ねることによって、課題の遂行に要される時間が増大した。このことはゲームの進行によって参加者間での複雑な行動の読み合いが生じたことを示唆する。

さらに図 2 からは、2 人の参加者において、各ブロックで手札を出すまでに時間のかかる手巡りが共通していることも示される。これらの時間がかかった手巡りにおける発話を付録に示した。発話を見れば、他者に対して偽りの情報を伝えるなどして相手を攪乱する行動 (07:38)、行動の読み合いが生じているこ

とに対する直接的な言明 (14:23) が観察される。これらから、設計されたゲームにおいて行動の読み合いが生じたと考えることができる。

## 6 まとめ

本研究では行動の読み合いを検討するためのカードゲームの設計を行った。設計されたゲームをプレイする ACT-R モデルの構築、および人間を参加者とする実験を実施した。これらの検討により、設計されたゲームにおいて行動の読み合いが生じることが明らかになった。今後は、構築されたモデルを実験結果と対応づける方法の検討が必要である。そのうえで、行動の読み合いに関わる認知プロセスをより詳細に正確に記述するモデルを検討していく必要がある。

## 参考文献

- [1] ACT-R Tutorial Unit 5 [Computer software manual]
- [2] J. R. Anderson: How can the human mind occur in the physical universe?, Oxford University Press, New York, (2007)
- [3] 安西 祐一郎: 情報共有によるインタラクションの理論, 認知科学, 24 巻, 2 号, pp. 234-260, (2017)
- [4] Richard W Byrne: The thinking ape: Evolutionary origins of intelligence, Oxford University Press, (1995)
- [5] 森田 純哉, 金野 武司, 奥田 次郎, 鮫島 和行, 李冠宏, 藤原 正幸, 橋本 敬: 協調的コミュニケーションを成立させる認知的要因, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 20 巻, 4 号, pp. 435-446, (2018)
- [6] 大澤 博隆: 協力ゲーム Hanabi におけるエージェント間の協調行動の分析, 人工知能学会全国大会論文集, JSAI2015 巻, 第 29 回全国大会, セッション ID 1F2-3, p. 1F23, (2015)
- [7] 大澤博隆, 鳥海不二夫, 片上大輔, 篠田孝祐, 稲葉通将: 人狼ゲームのプロトコル設計: 推理と説得のプロトコル, FAN2014, (2014)
- [8] 大本義正・植田一博・大野健彦・小松孝徳: 複数の非言語情報を利用した嘘の読み取りとその自動化, ヒューマンインタフェース学会誌, vol.8(4), pp. 555-564, (2006)
- [9] 汪博豪, 大澤博隆, 佐藤健: 進化シミュレーションを用いた 3 人狼の戦略分析, HAI シンポジウム 2017, p. 48, (2017)
- [10] 植田 一博: 『認知的インタラクションデザイン』の展望: 時間的な要素を組み込んだインタラクション・モデルの構築を目指して, 認知科学, 24 巻, 2 号, pp. 220-233, (2017)

## 付録

### 3ブロックにおける3巡目

B: よっしよしよし。  
06:31 B: もうこれ、へましなきや勝ったよ。  
06:35 B: いや。勝ちたい。絶対。ここは。  
06:41 B: え、まじで。確率的には俺が勝つはず。  
06:44 A: そうだね。  
B: うーん。いや。初勝利とりてえなー。  
よし。  
A: なるほど。  
06:50 B: いや待っててよ。  
06:56 B: いやでもそんな変わんねえのか状況は。  
07:02 A: いや。  
07:10 A: あー。  
07:12 B: え、一緒じゃない？  
07:15 A: いやもう。決まったな。えーと。  
07:18 B: いや決まってるよ。  
A: いや。違う。僕の、あの、勝つ条件は、  
もう決まったなと思って。  
B: あ、ま、そうだね。  
A: うん。で。  
B: うん。  
07:29 A: だから。  
07:38 A: いや。僕も勝ちはないんじゃないかな。  
07:42 A: 引き分けにするしかないよね。  
B: そっか。  
A: うん。僕は。  
B: そうだね。引き分けにするしかない。  
07:50 B: じゃ引き分け以上は確定したのか。僕  
にとっては。  
07:54 B: ということで。  
A: はい。  
07:56 B: じゃあ、行きますよ。  
08:02 (Bが提出)  
08:05 A: なるほど。だから。(笑) そうなんだよ  
なー。そうなんだよねー。だから。  
B: (笑)  
08:13 A: そうするためには  
08:31 (Aが提出)  
A: はい。

### 4ブロックにおける4巡目

12:56 B: もうこれわりと運すか？  
A: あとは、そうだなあ。えー。残ってる  
のはだって1,4があるじゃん。  
B: 俺はそうだよ。で、3,5でしょ？  
A: うん。まあ運っちゃ運だよ。  
13:17 A: だから。同時に出すのはなんかもう、

あの一。まだわかんない感じだから。今回は  
1枚ずつやったほうがいいと思って。  
13:25 B: で、3,4,3,5でしょ？俺は4を使って3  
を倒すしかないですよ。  
13:34 A: うん。そしたらー。  
B: じろうが勝ちってことになる？  
13:40 B: 俺がじろうに5を出させればいって  
いう。  
13:45 B: よけいなこと言った？(笑)  
A: どのみち出すから。  
B: まあ。どのみち。どのみち。そうだね。  
A: どこで出すかだから。  
B: そうだ。次か、次の次かだよ。出す  
ポイントは。だからもうわりと運っちゃ運  
です。  
A: まあまあまあ。  
B: じゃあ俺は行っちゃいますね。  
(Bが提出しかける)  
A: おー。  
B: あっ。ちょっと。  
14:03 (Bが撤回)  
B: お手付きはないんで。  
14:04 (Bが提出)  
B: いいですねこっちでも。  
14:14 B: でも、運、運で片づけていいのか？だ  
めだろうな。  
14:19 B: なんか麻雀、麻雀みたいなもんか。  
14:23 A: 読み合いだよなあ。  
B: 読み合い。  
A: この人誰だろうっていう。(笑)  
A: この人誰なんだろうっていう。  
14:38 (Aが提出)  
B: おお。行きますか。

### 5ブロックにおける2巡目

16:09 A: (不明)  
B: うん。  
B: なんか考えてきちゃうよね。  
A: うん。  
16:17 A: こういうのはあれなんだよ。あの一。  
初回とかのほうが得意な人なんだよ。  
B: あ、そういうパターン？  
A: うん。  
B: なるほどね。  
A: うん。  
A: 相手が強くな、相手が経験してきちゃ  
うと、あの、負けてくる。(笑)  
B: のみこみが早いんだね。最初の。  
A: あー。それはあるかも。

---

B: うん.

16:41 B: え, でもわりと運だよ. 俺も.  
A: あ, ほんとに?  
B: いやなんか. 手探りっていうか. なんかそんな. 考えてはいるけど, 正しいのかわからない.  
A: うん.

16:55 B: というわけで.  
A: うん.

17:14 B: はい.  
(B が提出しかける)

17:16 B: いやっ.  
(B が撤回)

17:22 B: これかな.  
(B が提出)  
B: これ.  
A: おー.  
B: うん. 俺がじろうだったら, こうしてくるからこう, みたいな. ちょっと.

17:39 A: 僕は,

17:45 A: ちょっとなんか. ずーっとやっ, おんなじ, なんか, 感じでやっててもつまらんから.

17:50 (A が提出)  
B: え, そういうことするか? (笑) まあいいや. いいよいいよいいよ. 全然.  
A: ちょっと, 変えてみる.  
B: はい.

---